

20. 4. 2004

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

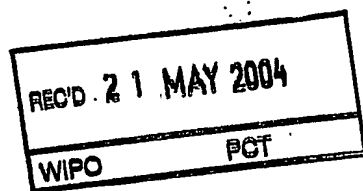
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2004年 3月17日  
Date of Application:

出願番号 特願2004-076958  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP2004-076958]

出願人 東京エレクトロン株式会社  
Applicant(s):

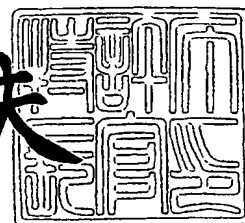


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 4月 5日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 JPP042099  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/28  
H01L 21/90

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内  
【氏名】 小林 保男

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内  
【氏名】 川村 剛平

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内  
【氏名】 浅野 明

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内  
【氏名】 寺井 康浩

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内  
【氏名】 西澤 賢一

【特許出願人】  
【識別番号】 000219967  
【氏名又は名称】 東京エレクトロン株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100091513  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 井上 俊夫

【先の出願に基づく優先権主張】  
【出願番号】 特願2003- 83292  
【出願日】 平成15年 3月25日

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 034359  
【納付金額】 21,000円

【その他】 国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成14年度、経済産業省、エネルギー使用合理化次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術開発委託研究（マイクロ波励起高密度プラズマを用いた省エネ型半導体製造装置の技術開発）、産業再生法第30条の適用を受けるもの）

【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 9105399

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

気密な処理容器内の載置部に載置された基板に対し、原料ガスをプラズマ化したプラズマにより絶縁膜を成膜する方法において、

原料ガス供給口と前記基板の表面との間のプラズマ発生空間における平均自乗速度で定義した電子温度が  $3\text{ eV}$  以下であり、かつ電子密度が  $5 \times 10^{11}$  個/cm<sup>3</sup> 以上であることを特徴とするプラズマ成膜方法。

**【請求項 2】**

マイクロ波を導波管を介して、載置部に対向して設けられた平面アンテナ部材に導き、この平面アンテナ部材に周方向に沿って形成された多数のスリットから前記マイクロ波を放出し、このマイクロ波のエネルギーによって原料ガスをプラズマ化することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ成膜方法。

**【請求項 3】**

スリットの長さは、平面アンテナ部材における導波管側のマイクロ波の波長の  $1/2$  と、平面アンテナ部材におけるプラズマ発生空間側のマイクロ波の波長の  $1/2$  との間の寸法に設定されていることを特徴とする請求項 2 記載のプラズマ成膜方法。

**【請求項 4】**

多数のスリットは、平面アンテナ部材の中央部を中心として同心円状または渦巻き状に配列されていることを特徴とする請求項 2 または 3 記載のプラズマ成膜方法。

**【請求項 5】**

平面アンテナ部材から円偏波または直線偏波としてマイクロ波が放射されることを特徴とする請求項 2 ないし 4 のいずれかに記載のプラズマ成膜方法。

**【請求項 6】**

処理雰囲気圧力が  $1.9 \times 10^{-5}$  Pa 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のプラズマ成膜方法。

**【請求項 7】**

基板に成膜される絶縁膜は、フッ素添加カーボン膜であることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載のプラズマ成膜方法。

**【請求項 8】**

原料ガスは C<sub>5</sub>F<sub>8</sub> ガスであることを特徴とする請求項 7 記載のプラズマ成膜方法。

**【請求項 9】**

基板を載置する載置部が内部に設けられた気密な処理容器と、前記基板に絶縁膜を形成するための原料ガスを前記処理容器内に供給するための原料ガス供給部と、前記原料ガスをプラズマ化するためのマイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、このマイクロ波発生手段にて発生したマイクロ波を前記処理容器内に導くための導波管と、この導波管に接続されると共に前記載置部に対向して設けられ、周方向に沿って多数のスリットが形成された平面アンテナ部材と、を備え、

前記原料ガス供給部の原料ガス供給口と前記基板の表面との間のプラズマ発生空間における平均自乗速度で定義した電子温度が  $3\text{ eV}$  以下であり、かつ電子密度が  $5 \times 10^{11}$  個/cm<sup>3</sup> 以上となるように構成されたことを特徴とするプラズマ成膜装置。

**【請求項 10】**

スリットの長さは、平面アンテナ部材における導波管側のマイクロ波の波長の  $1/2$  と、平面アンテナ部材におけるプラズマ発生空間側のマイクロ波の波長の  $1/2$  との間の寸法に設定されていることを特徴とする請求項 9 記載のプラズマ成膜装置。

**【請求項 11】**

多数のスリットは、平面アンテナ部材の中央部を中心として同心円状または渦巻き状に配列されていることを特徴とする請求項 9 または 10 記載のプラズマ成膜装置。

**【請求項 12】**

平面アンテナ部材から円偏波または直線偏波としてマイクロ波が放射されることを特徴とする請求項 9 ないし 11 のいずれかに記載のプラズマ成膜装置。

【請求項 1 3】

基板に成膜される薄膜は、フッ素添加カーボン膜であることを特徴とする請求項 9 ないし 1 2 のいずれかに記載のプラズマ成膜装置。

【請求項 1 4】

原料ガスは  $C_5F_8$  ガスであることを特徴とする請求項 1 3 記載のプラズマ成膜装置。

## 【書類名】明細書

## 【発明の名称】プラズマ成膜方法及びプラズマ成膜装置

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、絶縁膜例えばフッ素添加カーボン膜（フロロカーボン膜）をプラズマによって成膜する装置及びその方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

半導体デバイスの高集積化を図るための一つの手法として多層配線構造が採用されている。多層配線構造をとるためには、 $n$ 層目の配線層と $(n+1)$ 層目の配線層との間を導電層で接続すると共に、導電層以外の領域は層間絶縁膜と呼ばれる薄膜が形成される。この層間絶縁膜の代表的なものとしてシリコン酸化膜があるが、デバイスの動作速度をより一層早くするために層間絶縁膜の比誘電率を低くすることが要求されている。

## 【0003】

このような背景からフッ素添加カーボン膜が注目されており、このフッ素添加カーボン膜によればシリコン酸化膜に比べて大幅に比誘電率を下げるができる。特許文献1には、このフッ素添加カーボン膜の原料ガスとして環状構造の $C_5F_8$ を用い、2.45GHzのマイクロ波と875ガウスの磁場との相互作用により電子サイクロトロン共鳴（ECR）を起こして $Ar$ ガスなどのプラズマ発生用のガスをプラズマ化し、このプラズマにより前記 $C_5F_8$ ガスをプラズマ化してフッ素添加カーボン膜を半導体ウエハ（以下ウエハという）上に成膜することが記載されている。

## 【0004】

原料ガスとしては $C_4F_8$ なども知られているが、 $C_5F_8$ を用いれば図8に示すようにその分解生成物は立体構造を作りやすく、この結果 $C-F$ 結合が強固になって誘電率が低く、リーク電流も小さく、更に膜強度が大きくかつ耐ストレス性も大きい層間絶縁膜が得られる利点がある。

## 【0005】

【特許文献1】特開平11-162960号公報（段落0016～0018参照）

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

ところでプラズマ成膜を行うにあたっては、プロセス圧力を高くすると気相中で反応が起こりやすくなり、その反応生成粒子がウエハ上に付着してその粒子がパーティクルとして搬送中などに飛散するおそれがある。またプラズマ中の電子密度が低くなって成膜速度が遅くなり、スループットの低下から量産プロセスには適応できなくなってしまう。このためプロセス圧力（処理雰囲気圧力）を例えば100Paよりも低い圧力に設定して成膜することが前提になる。

## 【0007】

しかしながらプロセス圧力を低くすると、プラズマ中の電子温度が高くなり、原料ガスが過度に分解して即ち分子がいわば細切れになって全く異なる組成や構造となってしまう、もともとの原料組成や構造を生かすことができなくなる。例えば $C_5F_8$ ガスを原料として用いた場合には、細かく分解された分解生成物がウエハ上に降り積もってアモルファス状態になってしまい、このため比誘電率の低い膜が得られず、またリーク電流などの電気特性、膜強度やストレス耐性などの機械的特性、耐水性などの化学的特性が劣化してしまう。例えば $C_5F_8$ ガスの利点は、 $(CF_2)$ の立体的な連鎖構造を得て、低誘電率で機械特性などが優れたフッ素添加カーボン膜を得ることにあるが、実際にはこうした利点を生かし切れないのが現状である。プロセス圧力を高くすれば電子温度が下がり、原料の過度の分解は回避できるが、そうすると既述のようにパーティクル、成膜速度の問題が浮上し、結局これらパラメータはトレードオフの関係にあり、この結果フッ素添加カーボン膜の実現化を阻む要因の一つになっている。

## 【0008】

本発明は、原料ガスをプラズマ化して絶縁膜を成膜するにあたって、原料組成を生かし本来の分子結合を有する絶縁膜を得ることのできる装置及び方法を提供することにある。本発明の他の目的は、低誘電率で電気特性に優れた絶縁膜が得られる成膜装置及び成膜方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本発明は、気密な処理容器内の載置部に載置された基板に対し、原料ガスをプラズマ化したプラズマにより絶縁膜を成膜する方法において、

原料ガス供給口と前記基板の表面との間のプラズマ発生空間における平均自乗速度で定義した電子温度が3 eV以下であり、かつ電子密度が $5 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>3</sup>以上であることを特徴とする。この発明においては、処理雰囲気圧力が19.95 Pa (150 mTorr) 以下であることが好ましい。またこの方法は、フッ素添加カーボン膜を成膜する場合に好適であり、その場合原料ガスとしてはC5F8ガスが好ましい。

## 【0010】

この方法を実施する装置の一例として、基板を載置する載置部が内部に設けられた気密な処理容器と、前記基板に薄膜を形成するための原料ガスを前記処理容器内に供給するための原料ガス供給部と、前記原料ガスをプラズマ化するためのマイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段にて発生したマイクロ波を前記処理容器内に導くための導波管と、この導波管に接続されると共に前記載置部に対向して設けられ、周方向に沿って多数のスリットが形成された平面アンテナ部材と、を備えたプラズマ成膜装置を挙げることができる。

## 【0011】

スリットの長さは、例えば平面アンテナ部材における導波管側のマイクロ波の波長の1/2と、平面アンテナ部材におけるプラズマ発生空間側のマイクロ波の波長の1/2との間の寸法に設定される。多数のスリットは、例えば平面アンテナ部材の中央部を中心として同心円状または渦巻き状に配列され、また平面アンテナ部材から例えば円偏波または直線偏波としてマイクロ波が放射される。

## 【発明の効果】

## 【0012】

この発明によれば、電子温度が3 eV以下であることから、原料ガスを過度に分解することを抑制でき、このため原料ガスの特性を生かした本来の分子構造が得られ、例えば低誘電率で電気特性の優れた絶縁膜を得ることができる。また処理容器内の圧力を19.95 Pa (150 mTorr) 以下に設定して成膜を行うようにすれば、後述の実験例からも分かるように、プロセス条件を選択することにより低誘電率で電気特性の優れた絶縁膜を得ることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0013】

以下に本発明のプラズマ成膜装置の一実施の形態について図1により説明する。このプラズマ成膜装置は、ラジアルラインスロットアンテナを用いてプラズマを発生させるCVD (chemical vapor deposition) 装置である。図中1は例えば全体が筒体状に構成された処理容器(真空チャンバ)であり、この処理容器1の側壁や底部は、導体例えばAl添加ステンレススチール等により構成され、内壁面には酸化アルミニウムよりなる保護膜が形成されている。

## 【0014】

処理容器1のほぼ中央には、基板例えばウエハWを載置するための載置部である載置台11が絶縁材11aを介して設けられている。この載置台11は例えば窒化アルミニウム(AlN)もしくは酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)より構成され、内部には冷却媒体を通流させる冷却ジャケット11bが設けられると共に、この冷却ジャケット11bと併せて温調部を形成する図示しないヒータが設けられている。載置台11の載置面は静電チャッ

クとして構成されている。また載置台 11 には例えば 13.56 MHz のバイアス用高周波電源 12 が接続され、バイアス用高周波により載置台 11 の表面を負電位とすることでプラズマ中のイオンを高い垂直性で引き込むようにしている。

#### 【0015】

前記処理容器 1 の天井部は開放されており、この部分には O リング等のシール部材（図示せず）を介して、載置台 11 と対向するように、例えば平面形状が略円形状に構成された第 1 のガス供給部 2 が設けられている。このガス供給部 2 は例えば A12O3 により構成され、載置台 11 と対向する面には多数の第 1 のガス供給孔 21 が形成されている。ガス供給部 2 の内部にはガス供給孔 21 の一端側と連通するガス流路 22 が形成されており、このガス流路 22 には第 1 のガス供給路 23 の一端側が接続されている。一方、第 1 のガス供給路 23 の他端側はプラズマガスであるアルゴン（Ar）ガスやクリプトン（Kr）ガスなどの供給源 24 及び水素（H<sub>2</sub>）ガスの供給源 25 が接続されており、これらのガスは、第 1 のガス供給路 23 を介してガス流路 22 に供給され、前記ガス供給孔 21 を介して、第 1 のガス供給部 2 の下方側の空間に一樣に供給される。この例では、第 1 のガス供給部 2 の下面と載置台 11 上のウエハ W の表面との間の距離は 50 mm に設定されている。

#### 【0016】

また前記処理容器 1 は、載置台 11 と第 1 のガス供給部 2 との間に、例えばこれらの間を区画するように、例えば平面形状が略円形状に構成された第 2 のガス供給部 3 を備えている。この第 2 のガス供給部 3 は例えばマグネシウム（Mg）を含んだアルミニウム（Al）合金や Al 添加ステンレススチール等の導電体により構成され、載置台 11 と対向する面には多数の第 2 のガス供給孔 31 が形成されている。このガス供給部 3 の内部には、例えば図 2 に示すようにガス供給孔 31 の一端側と連通する格子状のガス流路 32 が形成されており、このガス流路 32 には第 2 のガス供給路 33 の一端側が接続されている。また第 2 のガス供給部 3 には、当該ガス供給部 3 を貫通するように、多数の開口部 34 が形成されている。この開口部 34 は、プラズマやプラズマ中の原料ガスを当該ガス供給部 3 の下方側の空間に通過させるためのものであり、例えば隣接するガス流路 32 同士の間形成されている。

#### 【0017】

ここで第 2 のガス供給部 3 は、第 2 のガス供給路 33 を介して原料ガスであるフッ素と炭素とを含む原料ガス例えば C5F8 ガスの供給源 35 と接続され、この原料ガスは、第 2 のガス供給路 33 を介してガス流路 32 に順次流通していき、前記ガス供給孔 31 を介して、第 2 のガス供給部 3 の下方側の空間に一樣に供給される。図中 V1～V3 はバルブ、101～103 は流量調整部である。

#### 【0018】

前記第 1 のガス供給部 3 の上部側には、O リング等のシール部材（図示せず）を介して、例えば A12O3 などの誘電体により構成されたカバープレート 13 が設けられ、このカバープレート 13 の上部側には、当該カバープレート 13 と密接するようにアンテナ部 4 が設けられている。このアンテナ部 4 は、図 3 に示すように、平面形状が円形の下面側が開口する扁平なアンテナ本体 41 と、このアンテナ本体 41 の前記下面側の開口部を塞ぐように設けられ、多数のスロットが形成された円板状の平面アンテナ部材（スロット板）42 とを備えており、これらアンテナ本体 41 と平面アンテナ部材 42 とは導体により構成され、扁平な中空の円形導波管を構成している。

#### 【0019】

また前記平面アンテナ部材 42 とアンテナ本体 41 との間には、例えば A12O3 や酸化ケイ素（SiO<sub>2</sub>）、窒化ケイ素（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>）等の低損失誘電体材料により構成された遅相板 43 が設けられている。この遅相板 43 はマイクロ波の波長を短くして前記導波管内の管内波長を短くするためのものである。この実施の形態では、これらアンテナ本体 41、平面アンテナ部材 42、遅相板 43 によりラジアルラインスロットアンテナが構成されている。

## 【0020】

このように構成されたアンテナ部4は、前記平面アンテナ部材42がカバープレート13に密接するように図示しないシール部材を介して処理容器1に装着されている。そしてこのアンテナ部4は同軸導波管44を介して外部のマイクロ波発生手段45と接続され、例えば周波数が2.45GHzあるいは8.3GHzのマイクロ波が供給されるようになっている。この際、同軸導波管44の外側の導波管44Aはアンテナ本体41に接続され、中心導体44Bは遅相板43に形成された開口部を介して平面アンテナ部材42に接続されている。

## 【0021】

前記平面アンテナ部材42は例えば厚さ1mm程度の銅板からなり、図3及び図4に示すように例えば円偏波を発生させるための多数のスロット46が形成されている。このスロット46は略T字状に僅かに離間させて配置した一対のスロット46a、46bを1組として、周方向に沿って例えば同心円状や渦巻き状に形成されている。このようにスロット46aとスロット46bとを相互に略直交するような関係で配列しているので、2つの直交する偏波成分を含む円偏波が放射されることになる。

## 【0022】

この際スロット対46a、46bを遅相板43により圧縮されたマイクロ波の波長に対応した間隔で配列することにより、マイクロ波が平面アンテナ部材42より略平面波として放射される。具体的にはこの例では、各スロット46a、46bのスロット長 $L_1$ が平面アンテナ部材42における同軸導波管44側のマイクロ波の波長の $1/2$ 以下の大きさであって、かつ平面アンテナ部材42におけるプラズマ発生空間（処理容器2内）側のマイクロ波の波長の $1/2$ よりも大きい寸法に設定され、マイクロ波がスロット46を通過してプラズマ空間に入り、プラズマ空間からは同軸導波管44側に戻らないようになっている。更にまた同心円状に配列されるスリット46において内輪側のスリット46と外輪側のスリット46との間隔 $L_2$ は、例えば同軸導波管44側のマイクロ波の波長の $1/2$ に設定されている。

## 【0023】

また処理容器1の底部には、排気管14が接続されており、この排気管14は圧力調整部51を介して真空排気手段である真空ポンプに接続され、処理容器1内を所定の圧力まで真空引きできるようになっている。

## 【0024】

続いてこの装置にて実施される本発明の成膜方法の一例について説明する。先ず図示しないゲートバルブを介して例えば表面にアルミニウム配線が形成された基板であるウエハWを搬入して載置台11上に載置する。続いて処理容器1の内部を所定の圧力まで真空引きし、第1のガス供給路23を介して第1のガス供給部2にプラズマガス例えばArガスを所定の流量例えば300sccmで供給すると共に、第2のガス供給路33を介して原料ガス供給部である第2のガス供給部3に原料ガス例えばC5F8ガスを所定の流量例えば150sccmで供給する。そして処理容器1内を例えばプロセス圧力13.3Paに維持し、載置台11の表面温度を350℃に設定する。

## 【0025】

一方マイクロ波発生手段から2.45GHz、2000Wの高周波（マイクロ波）を供給すると、このマイクロ波は、TMモード或いはTEモード或いはTEMモードで同軸導波管44内を伝搬してアンテナ部4の平面アンテナ部材42に到達し、同軸導波管の内部導体44Bを介して、平面アンテナ部材42の中心部から周縁領域に向けて放射状に伝搬される間に、スロット対46a、46bからマイクロ波がカバープレート13、第1のガス供給部2を介して当該ガス供給部2の下方側の処理空間に向けて放出される。ここでカバープレート13と第1のガス供給部2はマイクロ波が透過可能な材質例えばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により構成されているので、マイクロ波透過窓として作用し、マイクロ波はこれらを効率良く透過していく。

## 【0026】



このとき既述のようにスリット対46a, 46bを配列したので、円偏波が平面アンテナ部材42の平面に亘って均一に放出され、この下方の処理空間の電界密度が均一化される。そしてこのマイクロ波のエネルギーにより、広い処理空間の全域に亘って高密度で均一なプラズマが励起される。そしてこのプラズマは、第2のガス供給部3の開口部34を介して当該ガス供給部3の下方側の処理空間に流れ込んで行き、当該ガス供給部3からこの処理空間に供給されるC5F8ガスを活性化させてつまりプラズマ化して活性種を形成する。こうして発生したC5F8ガスのプラズマは、電子温度が例えば1.2 eVと低い値になっている。またプロセス圧力が低いことから、電子密度は $10^{12}$ 個/cm<sup>3</sup>オーダーになっている。

#### 【0027】

ここでいう電子温度とは、平均自乗速度で定義するものとし、その測定手段はいかなるものでもよい。また測定ポイントは、原料ガスの供給部に相当する第2のガス供給部3のガス供給口であるガス供給孔31とウエハWとの間の空間であり、処理容器1の壁近傍や載置台11の周囲の下部などは含まない。また平均自乗速度で定義するとは、図5に示すように、電子温度と電子の数との関係がマックスボルツマン分布をなしているものとし、各電子数の自乗を加算してその平均値となる電子温度をいうものである。図5中P1～P3は夫々最大確立速度、平均自乗速度、実効速度である。

#### 【0028】

このように低い電子温度で高い電子密度のプラズマが得られる理由は、明確には把握できていないが、平面アンテナ部材43の周方向に形成されたスリット46から放出されたマイクロ波に基づいて原料ガスをプラズマ化すると、電界に対する電子の追従性が良くなるのではないかと考えられる。即ち電界に追従して電子を運動させる場合、追従性が良くないと電界を大きくしなければならぬが、追従性が良好であると電界を大きくしなくても原料がプラズマ化し、また電界から開放されて処理容器1の壁に衝突して消失する電子も少ないことが要因ではないかと推測される。

#### 【0029】

一方ウエハW上に輸送された活性種はCF膜として成膜されるが、その際プラズマ引き込み用のバイアス電圧により、ウエハWに引き込まれたArイオンが、スパッタエッチング作用によりウエハW表面のパターン上の角部に成膜したCF膜を削り取り、間口を広げながら、パターン溝底部からCF膜を成膜し、凹部にCF膜が埋め込まれる。こうしCF膜が成膜されたウエハWは、図示しないゲートバルブを介して処理容器1から搬出される。

#### 【0030】

上述実施の形態によれば、低い電子温度でかつ高密度なプラズマにより絶縁膜を成膜しているので、後述の実施例からも明らかなように、低い比誘電率でリーク電流が小さいなどの電気特性が良好なCF膜が得られる。この理由は、原料ガスとして用いたC5F8を過度に分解して環状結合の各々が全て切断されるのではなく、CF結合が適度に切れてつまり環状結合の一部が切れて、切られたC5F8同士が繋がってCFが長く連鎖する立体構造が形成されるためと考えられる。即ち原料組成を生かし本来の分子結合を有するCF膜を得ることができ、このためこのCF膜は、膜強度やストレス耐性が大きいなど機械的特性に優れ、また耐水性などの化学的特性にも優れている。なお高い電子密度を確保しているので、成膜速度の低下により量産体制に適用できない、といった懸念はない。

#### 【0031】

またCF膜の原料ガスとしては、C5F8ガスに限られず、例えばC3F6ガス、C4F6ガスまたはC4F8ガスなどであってもよい。更に本発明において成膜する絶縁膜はCF膜に限らずシリコン、酸素及びフッ素の化合物であるSiOF膜などであってもよく、他の絶縁膜においても原料組成を生かした本来の結合を備えたものとしてでき、電気特性などの優れた絶縁膜とすることができる。

#### 【0032】

更にまた平面アンテナ部材43に形成されるスリット46は、上述のようにスリット4

6a、46bをほぼT字形に配置したものに限らないし、またマイクロ波が円偏波ではなく、直線偏波で放射されるようにスリットを形成してもよい。また本発明は、電子サイクロトロン共鳴を利用してプラズマを励起するECR型プラズマ処理装置、平行平板型プラズマ処理装置あるいは誘導結合型プラズマ処理装置においても、プロセス条件及び装置構成を工夫して、電子温度が3 eV以下であり、かつ電子密度が $5 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>3</sup>以上のプラズマを生成して絶縁膜を成膜する場合も含まれる。

#### 【実施例】

##### 【0033】

##### (実験例1)

図1のプラズマ成膜装置を用い、原料ガスの種類とプロセス条件を種々代えてCF膜を成膜し、各CF膜について比誘電率とリーク電流とを調べところ図6に示す結果が得られた。図6において縦軸は1 MV/cmの電界を絶縁膜に印加したときのリーク電流の値であり、横軸は絶縁膜の比誘電率である。なお各原料ガスについて本発明者は膨大なデータをとっているが、データの傾向が同様であるため、図6では代表的なデータを載せてある。

##### 【0034】

原料ガスとして、□のデータはC3F6ガスを用い、△のデータはC4F6ガスを用い、■のデータはC4F8ガスを用い、◇のデータはC5F8ガスを用いている。そしてこれらのデータに対応するCF膜を得るために設定したプロセス条件については、プロセス圧力を6.65~19.95 Pa (50~150 mTorr)、マイクロ波電力を1500~3000 W、アルゴンガスの流量を100~500 sccm、原料ガスの流量を50~200 sccm、ウエハWと第2のガス供給部3の下面までの距離を40~105 mmの間で振って電子温度が2 eV以下のプラズマを生成した。C3F6ガスまたはC4F8ガスを用いたときには、水素ガスも供給している。

##### 【0035】

電子温度の測定については、予め同条件で原料ガスの供給口からウエハに至るまでの間の空間について、ラングミュアプローブにより測定した。平均自乗速度で定義した電子温度は、1.1 eV~2.0 eVの間であった。そしてプロセス圧力を6.65~19.95 Pa (50~150 mTorr)もの低い圧力に設定しているため、電子密度は $10^{12}$ 個/cm<sup>3</sup>オーダーになっており、このことはラングミュアプローブ測定により確認している。なお、あるプロセス条件でC3F6ガスなどの原料ガスを用いて成膜したときに、そのプロセス条件における電子温度及び電子密度の値を求める方法は、同じプロセス条件で原料ガスの代わりにアルゴンガスを用いてプラズマを発生させ、そのプラズマについてラングミュアプローブにより電子温度及び電子密度を測定することとした。つまり電子温度及び電子密度の測定については、アルゴンガスを用いて評価することとした。その理由はCF系のガスを用いるとラングミュアプローブを腐蝕するおそれがあるからであるが、電子温度及び電子密度はガス種を変えても略同じであるから、評価方法に問題はない。

##### 【0036】

一例として比誘電率が1.9~2.1である3点の◇のデータに対応するプロセス条件の具体的数値を挙げると、プロセス圧力は13.3 Pa (100 mTorr)、マイクロ波電力は2000 W、アルゴンガスの流量は300 sccm、原料ガスの流量は100 sccm、ウエハWと平面アンテナ部材との下面までの距離は50 mmであり、電子温度は、1.1 eVである。またデータの値は、ウエハ上の3ポイントのデータの平均値を示している。

##### 【0037】

一方○のデータは、原料ガスとしてC5F8ガスを用い、成膜装置としては、既述の特許文献1に記載されているECRプラズマ装置を用い、電子温度が5 eV~6 eVのプラズマを発生させてCF膜を得、そのCF膜について調べたものである。

##### 【0038】

ところで優れた層間絶縁膜とするには、比誘電率が低く、リーク電流が小さいことが要

求され、本発明者は2.2以下の比誘電率で、リーク電流が $1.0 \times 10^{-8}$  ( $1 \times 10^{-8}$ ) A/cm<sup>2</sup>以下を目標としている。図6の結果から分かるように、電子温度が5 eVを越えた高い値であると、CF膜の比誘電率は2.5以上で、またリーク電流も $1.0 \times 10^{-7}$  ( $1 \times 10^{-7}$ ) A/cm<sup>2</sup>もの大きな値になっており、目標ゾーンからかなり離れているが、電子温度が2 eV以下であると、比誘電率が低くなるかあるいはリーク電流が小さくなるか、または両方とも小さくなって、全体として目標ゾーンに寄っていることが分かる。

#### 【0039】

このデータからすれば、電子温度が2 eVより大きくても、例えば3 eVまでであれば、5 eVのデータに比べて図6のグラフの左下側に寄ったデータが得られること、つまり比誘電率が低く、リーク電流が小さいという効果が得られることは明らかである。従って電子温度を3 eV以下とすることで、原料ガスの過度の分解が抑えられて本来の分子構造が得られることを裏付けている。例えば原料としてC5F8ガスを用いた場合には、目標ゾーンに可成り近づいており、各C5F8の分子中のCF結合が適度に切断され、切断されたC5F8分子同士が繋がってCFの長い連鎖構造が形成され、このため比誘電率が低く、リーク電流が小さい絶縁膜になったと推察される。これに対し電子温度が5 eVもの高い値であると、C5F8がばらけてしまい本来の連鎖構造が得られなくなったものと考えられる。

#### 【0040】

なお電子密度について、 $5 \times 10^{11}$  個/cm<sup>3</sup>よりも小さい場合のデータはとっていないが、従来のECRなどの装置において通常の使い方をすると、圧力を上げれば低い電子温度が得られるが、このとき電子密度が低くなってしまいうので、本発明では、こうした手法と一線を引くために電子密度を規定している。即ち、経験的にガスの分離が進んで十分な成膜速度を得るためには、電子密度が $5 \times 10^{11}$  個/cm<sup>3</sup>以上であれば全く問題ないことを把握しており、本発明はこの条件を前提とした上で低い電子温度でプロセスを行うものである。

#### (実験例2)

次に図1のプラズマ成膜装置を用い、原料ガスとしてC5F8ガスを用いると共に処理雰囲気圧力(プロセス圧力)を6.65 Pa (50 mTorr)、13.3 Pa (100 mTorr)、19.95 Pa (150 mTorr)、26.6 Pa (200 mTorr)の4通りの圧力に設定し、各圧力毎にプロセス条件を種々変えてCF膜を成膜し、各CF膜について比誘電率とリーク電流とを調べた。結果は図7に示す通りである。図7において縦軸は1 MV/cmの電界を絶縁膜に印加したときのリーク電流の値であり、横軸は絶縁膜の比誘電率である。プロセス条件とは、第2のガス供給部3の下面とウエハとの距離(図1参照)、マイクロ波電力、アルゴンガスの流量、原料ガスの流量及びウエハの温度などであり、この実験ではプロセス圧力を変えずにこれらプロセス条件の組み合わせを種々変えてCF膜を成膜している。

#### 【0041】

図7から分かるように、プロセス条件を変えることによりリーク電流及び比誘電率の値が大きく振れている。例えば圧力を13.3 Paに設定して成膜されたCF膜と圧力を26.6 Paに設定して成膜されたCF膜とを比較すると、前者のCF膜の方が後者のCF膜に比べてリーク電流及び比誘電率のいずれについても優れている(小さくなっている)関係のデータもあれば、その逆の関係のデータもある。CF膜についてはリーク電流が小さくかつ比誘電率が小さいもの程、絶縁膜の特性が良いことから、図7におけるデータとしてはグラフの左下に向かうほど絶縁膜の特性が良いということになる。

#### 【0042】

ここで先の実験例1の結果も踏まえて図7の結果を検討すると、プロセス圧力も含めてプロセス条件を変えることにより、リーク電流の値も比誘電率の値も変わり、またプロセス圧力を一定にした場合においてもその他のプロセス条件を変えることによりやはりデータがばらついてくるが、プロセス圧力の大きさによってデータの広がり方が変わってくる

。即ち、プロセス条件を絞り込むことによりデータを図7の左下に寄せることができるが、プロセス圧力の大きさによってその寄り方が変わってくる。プロセス圧力が19.95 Pa以下の場合には、比誘電率が2.2付近でかつリーク電流が $1.0 \times 10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>に近い値のデータが得られるが、プロセス圧力が26.6 Paの場合には、比誘電率を2.3よりも小さくできない。

#### 【0043】

プロセス条件とリーク電流及び比誘電率との傾向について述べておくと、ウエハの温度を低くするとリーク電流が小さくなり、ガスシャワーヘッドである第2のガス供給部3とウエハとの距離を小さくすると比誘電率が小さくなる傾向にあるといえるが、データを図7の左下に寄せるためには、ガス流量も含めてプロセス条件を微妙に設定する必要がある。以上の結果から、プラズマの電子温度を3 eV以下好ましくは2 eV以下としかつ電子密度を $5 \times 10^{11}$  個/cm<sup>3</sup>以上にしてプロセスを行う場合には、プロセス圧力を19.95 Pa (150 mTorr) 以下にすることが、良好な特性の絶縁膜を得るにあたって好ましい手法であることが分かる。なおプロセス圧力の下限については特に規定する意味はなく、真空排気容量の大きいポンプを使うことにより、より低いプロセス圧力を実現できるならばその圧力でプロセスを行えばよい。なお図7において、比誘電率が2.3以下でかつリーク電流が $5.0 \times 10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>以下のデータについては、先の図6の結果から当然に電子温度は2 eV以下である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0044】

【図1】 本発明のプラズマ成膜装置の実施の形態を示す縦断側面図である。

【図2】 上記のプラズマ成膜装置に用いられる第2のガス供給部を示す平面図である。

【図3】 上記のプラズマ成膜装置に用いられるアンテナ部を一部断面で示す斜視図である。

【図4】 上記のプラズマ成膜装置に用いられる平面アンテナ部材を示す平面図である。

【図5】 電子温度の定義について説明するために電子の数と電子温度との関係を示す説明図である。

【図6】 絶縁膜の比誘電率とリーク電流を記載した実験結果を示す説明図である。

【図7】 絶縁膜の比誘電率とリーク電流を記載した実験結果を示す説明図である。

【図8】 原料ガスの分子構造と絶縁膜の分子構造とを示す説明図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0045】

- 1 処理容器
- 11 載置台
- 2 第1のガス供給部
- 21 ガス供給孔
- 22 ガス流路
- 23 ガス供給路
- 3 第2のガス供給部
- 31 ガス供給孔
- 32 ガス流路
- 33 ガス供給路
- 34 開口部
- 4 アンテナ部
- 43 平面アンテナ部材
- 44 同軸導波管
- 45 マイクロ波発生手段
- 46、46a、46b スリット

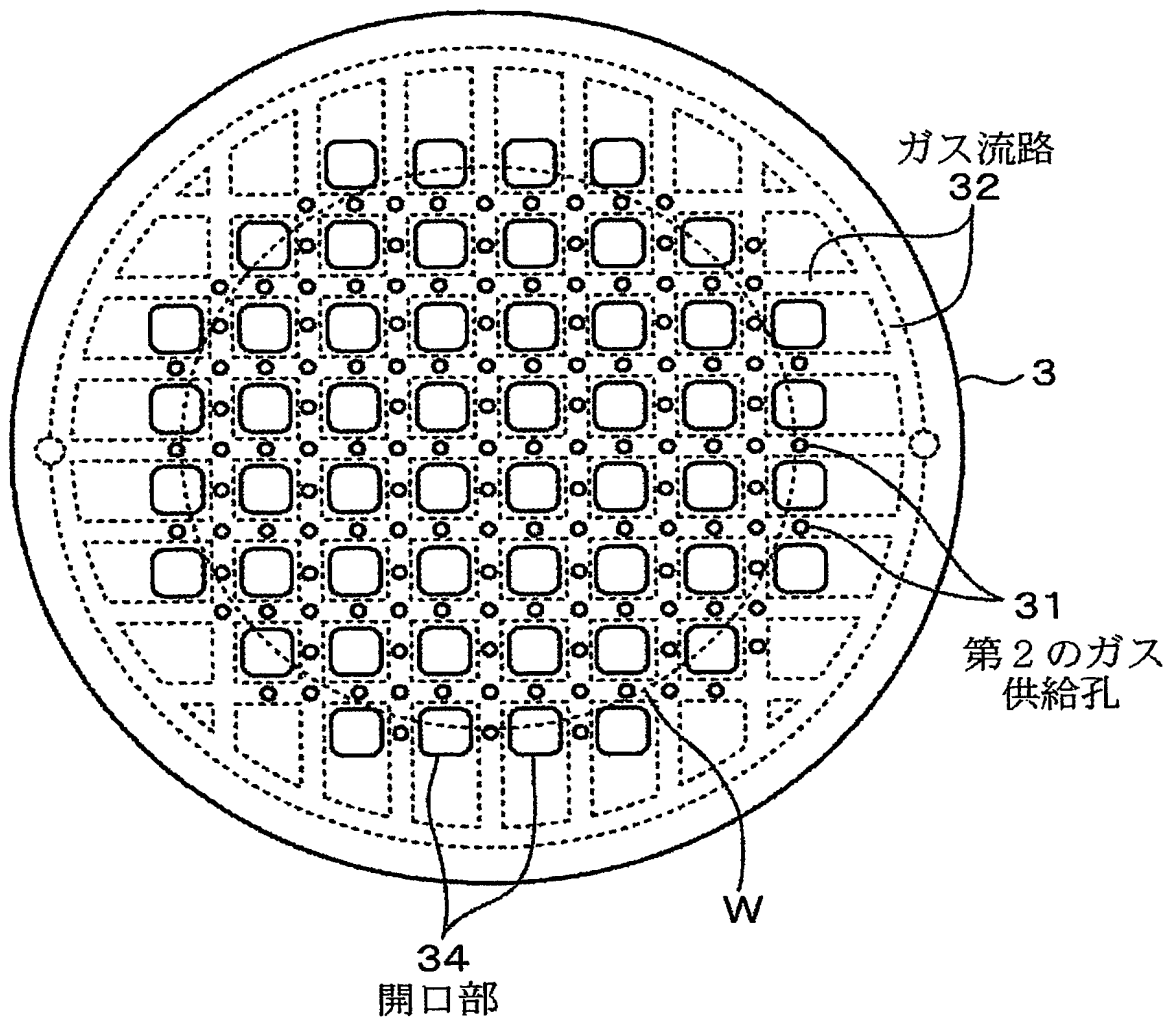


5

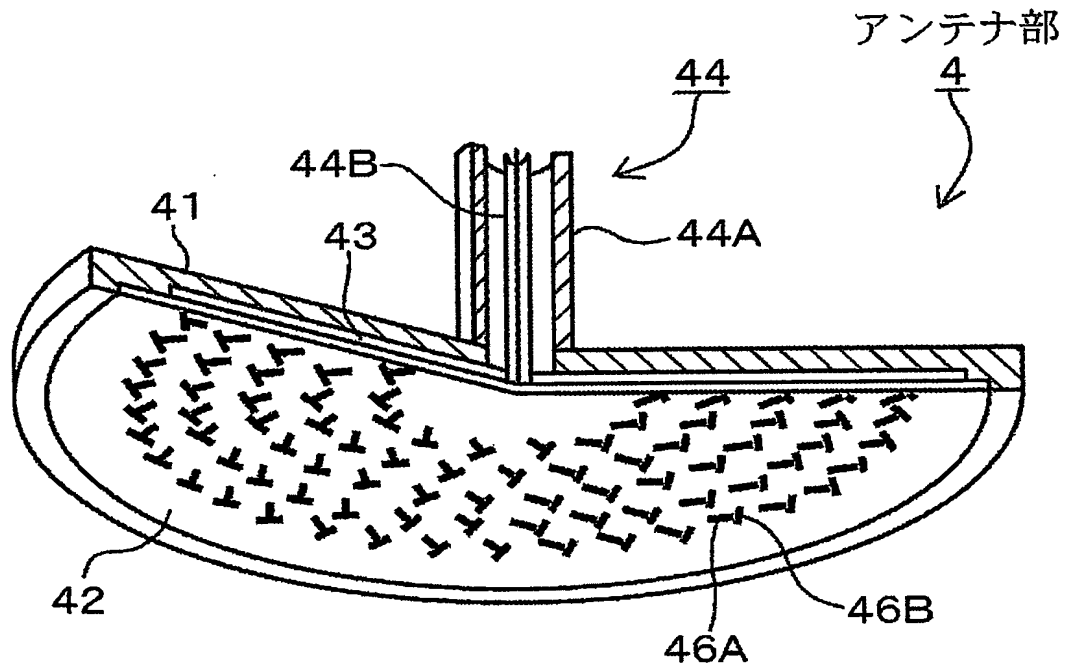
真空ポンプ



【図 2】

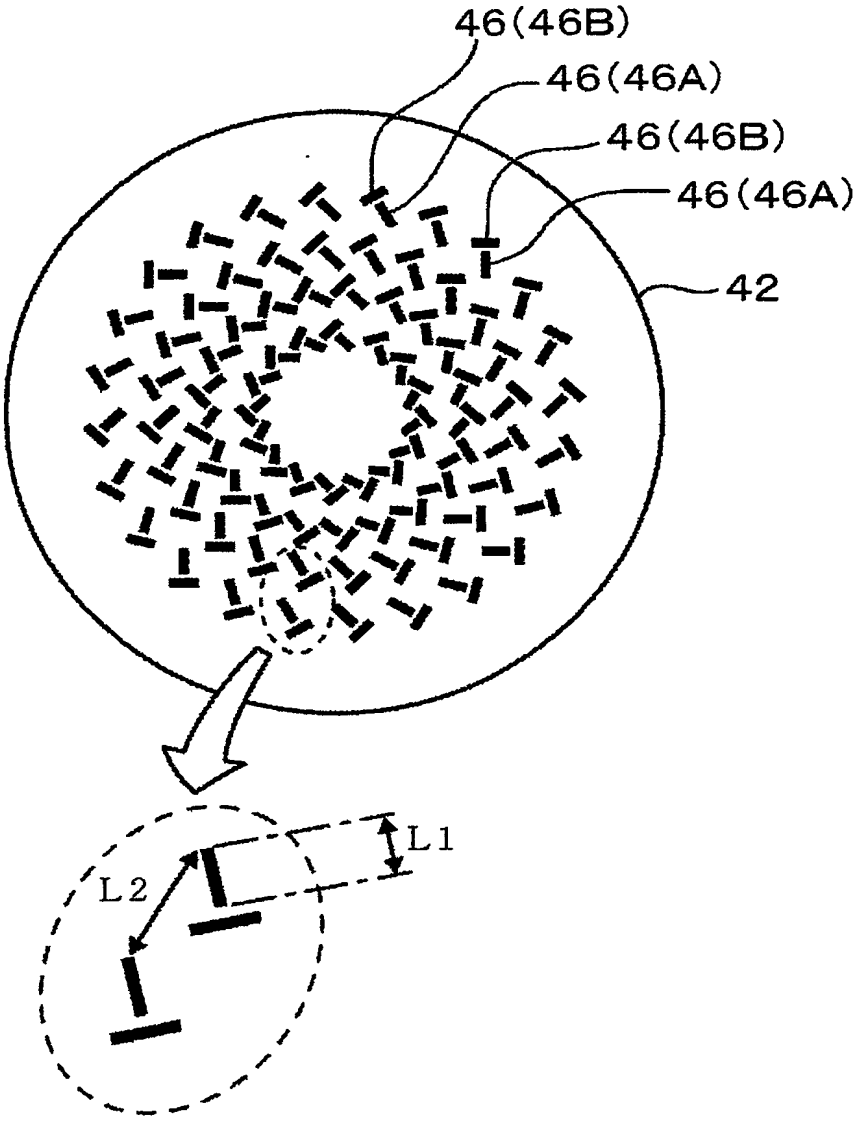


【図 3】

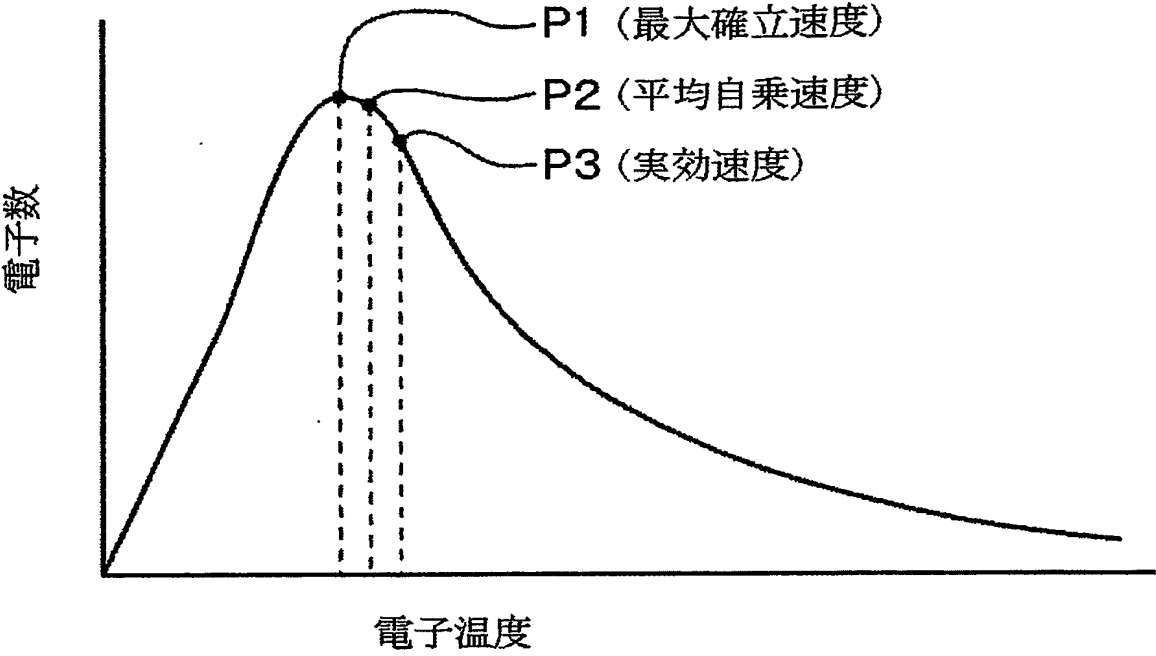




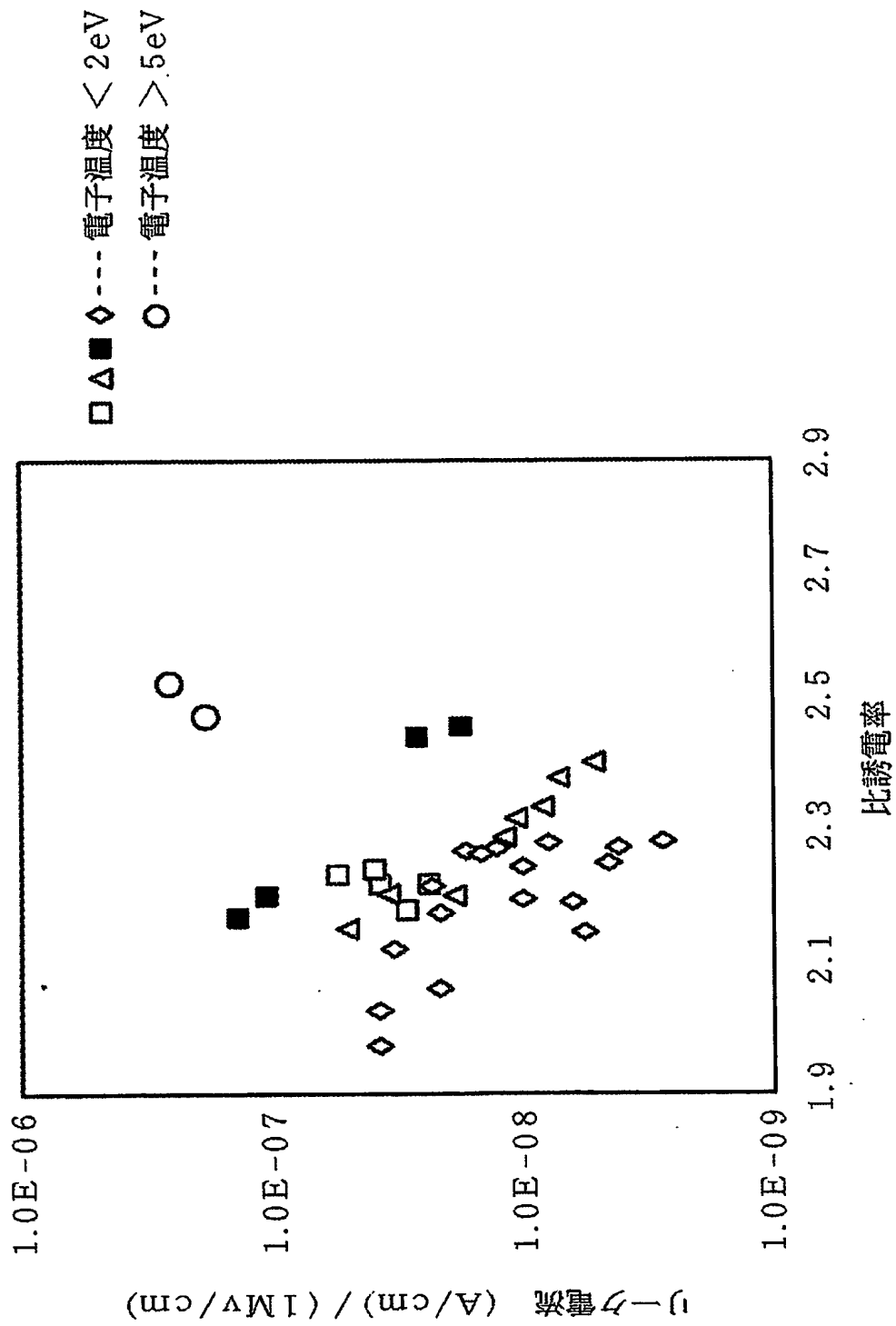
【図 4】



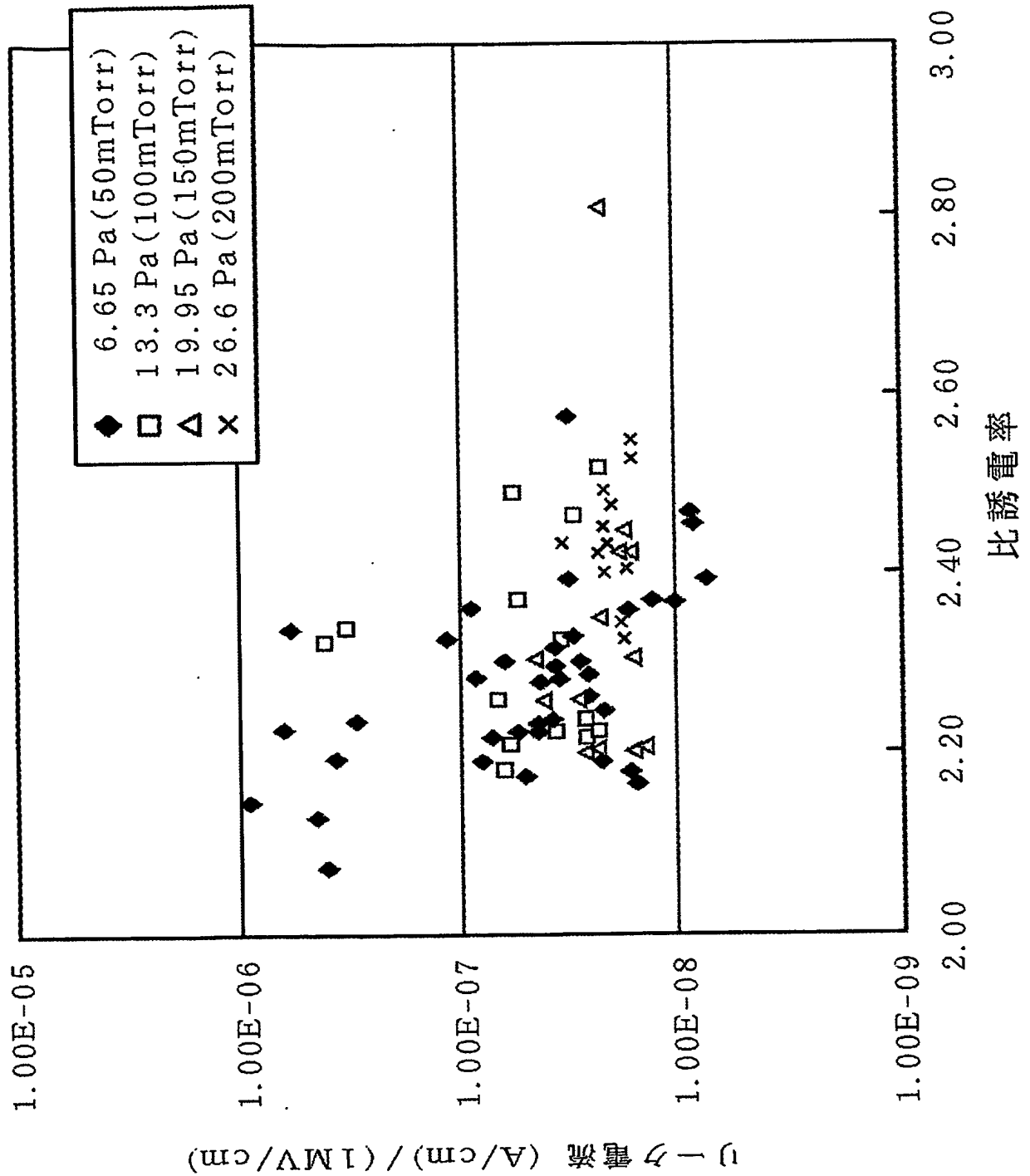
【図 5】



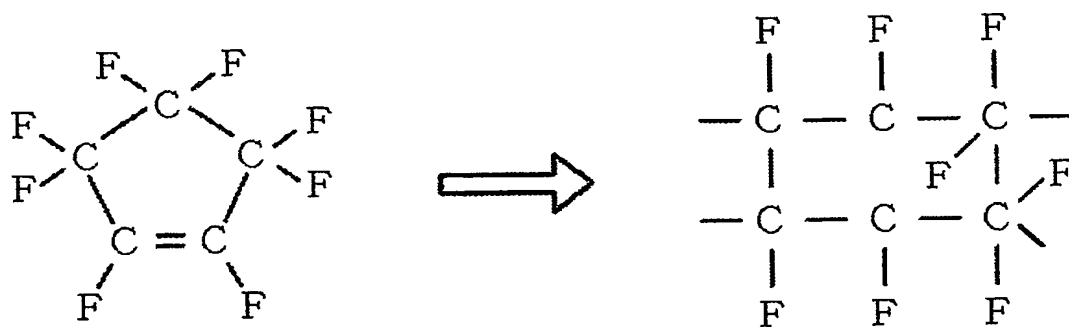
【図 6】



【図 7】



【図 8】



## 【書類名】要約書

## 【要約】

【課題】 プラズマを用いてフッ素添加カーボン膜を成膜するにあたり、原料ガス例えば  $C_5F_8$  ガスの分子結合を適度に分解して  $CF$  結合の長い連鎖構造を得、これにより低い誘電率でリーク電流の小さい優れた層間絶縁膜を成膜すること。

【解決手段】 真空チャンバの上面開口部を誘電体で塞ぎその上面側に平面アンテナ部材を設ける。この平面アンテナ部材の上面側に同軸導波管を設け、この導波管にマイクロ波発生手段を接続する。平面アンテナ部材には、同心円状に例えばマイクロ波の半波長の長さのスリットを多数設け、これらスリットから例えば円偏波としてマイクロ波を処理雰囲気放射して原料ガスをプラズマ化し、平均自乗速度で定義した電子温度が  $3\text{ eV}$  以下であり、かつ電子密度が  $5 \times 10^{11}$  個/cm<sup>3</sup> 以上となるプラズマを発生させフッ素添加カーボン膜を成膜する。この場合プロセス圧力を  $19.95\text{ Pa}$  以下に設定してプロセスを行うことが好ましい。

【選択図】 図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2004-076958
受付番号	50400442524
書類名	特許願
担当官	神田 美恵 7397
作成日	平成16年 3月22日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】	平成16年 3月17日
【特許出願人】	
【識別番号】	000219967
【住所又は居所】	東京都港区赤坂五丁目3番6号
【氏名又は名称】	東京エレクトロン株式会社
【代理人】	申請人
【識別番号】	100091513
【住所又は居所】	神奈川県横浜市西区桜木町7丁目45番地の6 神奈中ビル2F井上特許事務所
【氏名又は名称】	井上 俊夫

特願 2004-076958

出願人履歴情報

識別番号

[000219967]

1. 変更年月日

2003年 4月 2日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都港区赤坂五丁目3番6号

氏 名

東京エレクトロン株式会社